

SESSION 2017

**CAPLP
CONCOURS EXTERNE
ET CAFEP**

**Section : GÉNIE ÉLECTRIQUE
Option : ÉLECTROTECHNIQUE ET ÉNERGIE**

ANALYSE D'UN PROBLÈME TECHNIQUE

Durée : 4 heures

Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : La copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.

INFORMATION AUX CANDIDATS

Vous trouverez ci-après les codes nécessaires vous permettant de compléter les rubriques figurant en en-tête de votre copie.

Ces codes doivent être reportés sur chacune des copies que vous remettrez.

► **Concours externe du CAPLP de l'enseignement public :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EFE	5200J	101	7397

► **Concours externe du CAFEP/CAPLP de l'enseignement privé :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EFF	5200J	101	7397

Distribution de l'énergie électrique de l'hôpital François Mitterrand de Dijon

DOSSIER SUJET

Ce sujet est constitué :

- d'un dossier sujet avec trois parties
- d'un dossier technique contenant la documentation technique de l'installation et les annexes.

Conseils aux candidats :

Les différentes parties du sujet sont indépendantes. Une lecture attentive de l'ensemble du document est conseillée avant de composer.

Les candidats doivent rédiger sur le présent document. Il est demandé de présenter clairement les calculs, de dégager et d'encadrer les résultats relatifs à chaque question.

La qualité de la rédaction des réponses (utilisation d'une forme adaptée pour présenter le résultat, justification du résultat) sera prise en compte dans l'évaluation.

La qualité des représentations et des tracés ainsi que le respect de la normalisation seront pris en compte dans l'évaluation.

PRESENTATION GENERALE	2
LES ENJEUX DE LA RESTRUCTURATION DE L'INSTALLATION ELECTRIQUE :	3
PARTIE 1. DISTRIBUTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE	5
1.1 ANALYSE DE LA DISTRIBUTION	5
1.2 JUSTIFICATION DU DEPART CTA.....	6
PARTIE 2. EFFICACITE ENERGETIQUE	8
2.1 GESTION TECHNIQUE ENERGETIQUE	8
2.2 AMELIORATION DE L'EFFICACITE ENERGETIQUE.....	11
PARTIE 3. DISPONIBILITE DE L'ENERGIE	15
3.1 DETERMINATION DE LA PUISSANCE INSTALLEE DE L'HOPITAL	15
3.2 ETUDE D'UN GROUPE SECOURS.....	17
3.3 IMPACT DE CHARGE ET REGULATION DE TENSION	19
3.4 STRATEGIE DE PILOTAGE DES GROUPES SECOURS.....	23

Distribution de l'énergie électrique de l'hôpital François Mitterrand de Dijon



Présentation générale

L'hôpital François Mitterrand de Dijon, dont les derniers travaux de restructuration ont été finalisés à la fin de l'année 2014, est le fruit de l'intégration de l'hôpital général, hôpital historique de Dijon, au sein de l'hôpital du Bocage. Ce dernier ayant été construit en 1962.

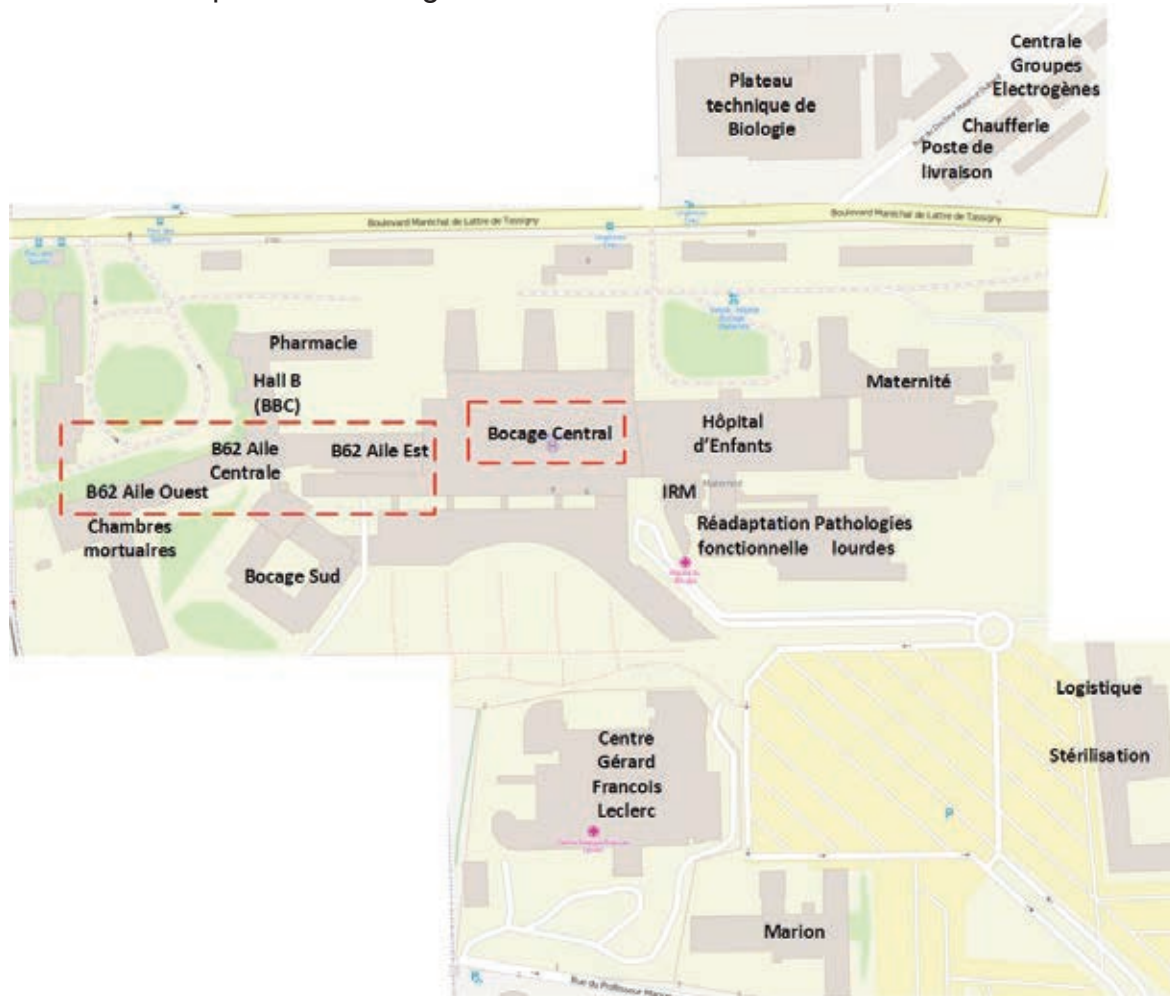
Il constitue avec le centre gériatrique de Champmaillot, le centre hospitalier universitaire (CHU) de Dijon qui devient le plus grand établissement hospitalier de la région Bourgogne d'une capacité d'accueil de 1777 lits et un personnel composé de 7300 agents.

L'hôpital est un ensemble d'établissements récents et plus anciens proposant les services suivants :

Anesthésie, réanimations chirurgicales, urgences et médecine légale	Biologie
Bio-statistiques et informatique médicale	Cœurs, poumons, vaisseaux
Gynécologie obstétrique, biologie de la reproduction	Imagerie
Médico-chirurgical, digestifs, endocrinien et urologique	Neurosciences et chirurgie réparatrice
Pathologies médicales	Pédiatrie
Personnes âgées	Pharmacie

La restructuration a concerné en grande partie la construction d'un bâtiment neuf dit « Bocage Central » et sa liaison via une galerie et une coursive avec un bâtiment plus ancien appelé « Bocage 62 » (B62 sur le plan ci-après).

L'opération « Bocage Central » a pour objectif de regrouper la totalité des lits actifs et des plateaux techniques du CHU sur le site du Bocage. Sur un terrain très contraint entre l'hôpital « Bocage 62 » et l'hôpital d'enfants, la construction représente près de 79.000 m² de plateaux techniques et d'hébergements.



Les Enjeux de la restructuration de l'installation électrique :

La distribution de l'énergie électrique a été entièrement reconçue afin d'intégrer les nouvelles installations aux précédentes tout en prenant en compte les deux contraintes majeures :

-**La sureté de fonctionnement** permettant d'assurer la continuité de service des équipements électriques à chaque instant et notamment lors des défauts d'alimentation électrique en mettant en œuvre :

- la vérification, la surveillance et la maintenance des installations électriques,
- l'utilisation de groupes secours.

-**L'efficacité énergétique** permettant de minimiser la consommation d'énergie électrique selon les trois axes suivants :

- l'optimisation du rendement énergétique des équipements électriques,
- l'optimisation de la consommation par la mise en œuvre des solutions de gestion et de pilotage à distance des équipements en fonction de leurs usages,
- une chaufferie à cogénération permettant de revendre l'énergie à EDF,

En termes de sécurisation du site, de la protection contre le risque incendie, du confort et de la sécurité des personnes, l'hôpital intègre :

- un système de sécurité incendie composé de 35 centrales, 6000 détecteurs (dont 2700 pour le Bocage Central),
- un système de désenfumage (105 extracteurs d'une capacité totale de 756 000 m³/h),
- un système de détection biométrique,
- un système de vidéo surveillance composé de 30 caméras,
- une GTC (Gestion Technique Centralisée) avec 7000 points surveillés,
- un système CVC (Chauffage-Ventilation-Climatisation) composé de 83 centrales de traitement de l'air et un système d'appel malade,

Ce sujet propose d'analyser les solutions techniques mises en œuvre concernant la sûreté de fonctionnement et l'efficacité de la partie rénovée « **Bocage Central** ».

L'ensemble des questions portera sur les trois parties suivantes associées au dossier technique contenant les documents techniques et les annexes :

- Partie 1 : distribution de l'énergie électrique (durée conseillée : 1h00),**
- Partie 2 : efficacité énergétique (durée conseillée : 1h30),**
- Partie 3 : disponibilité de l'énergie (durée conseillée : 1h30),**

Le tableau ci-dessous résume les parties de l'installation étudiées en relation avec les documents techniques et les annexes.

Partie étudiée	Localisation	Systèmes et sous-systèmes étudiés	Documents techniques	Annexes
Partie 1 : distribution de l'énergie électrique	Installation générale		DT1, DT2, DT6, DT7, DT8	
	TGBT Bocage Central Terrasse	Fusible	DT6	Annexe 1 : Fusibles Schneider
	TGBT Bocage Central Terrasse : Départ UT-NP/UT-28	Disjoncteur	DT7	Annexe 2 : Disjoncteur Schneider et valeur des impédances pour le calcul des courants de court-circuit
Partie 2 : efficacité énergétique	Bocage Central Terrasse et Bocage 62	Gestion Technique Energétique (GTE)	DT4, DT5, DT8	Annexe 5 : Centrale de mesure PM
				Annexe 6 : Passerelle EGX : Configuration réseau
				Annexe 7 : Passerelle EGX raccordement
	Bocage Central Terrasse	Transformateurs et condensateurs	DT8	Annexe 8 : Transformateurs de puissance
				Annexe 9 : Choix batterie de condensateurs
				Annexe 10 : Batteries de condensateurs Legrand
				Annexe 11 : Pertes en charge
				Annexe 12 : Directives Eco-Design
				Annexe 13 : Efficacité énergétique
Partie 3 : disponibilité de l'énergie	Installation générale et Groupes secours Bocage	Diesel/Alternateur	DT1, DT2	Annexe 3 : Groupes SDMO
		Régulation de tension		Annexe 4 : régulateur de tension MARK V
		Grafctet de stratégie de secours	DT3	

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

Partie 1. Distribution de l'énergie électrique

Dans le cadre de cette restructuration on se propose à l'aide des documents référencés DT 1, DT 2, DT 6, DT 7, DT 8 et des Annexes 1 et 2, d'analyser la distribution et de justifier les choix du TGBT « Bocage Central Terrasse ».

Ci-dessous, sont présentées quelques caractéristiques générales concernant l'installation :

- l'alimentation du poste de livraison du CHU par le réseau EDF 20 kV/50Hz est réalisée en coupure d'artère.
- plusieurs sous-stations sont alimentées depuis le poste de livraison et les groupes électrogènes.
- la puissance installée est de 2 x 10 MVA,
- l'installation est gérée par une GTE (Gestion Technique Energétique) comprenant des bus de terrains, la mise en réseau TCP/IP et un superviseur.

1.1 Analyse de la distribution

Question 01. Compléter le tableau ci-dessous précisant les domaines de tension en régime alternatif en vigueur selon la norme UTE C18-510.

Désignation	Domaines de tension en Volts
HTB	
HTA	
BT	
TBT	

Question 02. Justifier l'intérêt du type d'alimentation de l'installation en termes de continuité de service par rapport à une arrivée en antenne et en double dérivation.

Question 03. Expliquer le rôle des boucles « Ouest » et « Est ». Comment sont connectés chaque groupe de secours à ces dernières ?

Question 04. Quelle est la procédure à réaliser par l'équipe technique afin de garantir l'alimentation du reste de l'installation en cas de défaut de la cellule de connexion associée au départ 1 de la boucle « Est » de la sous-station IRM.

Question 05. Déterminer le SLT (Schéma de Liaison à la Terre) implanté dans la sous-station Bocage Central Terrasse. Que se produit-il en cas de défaut d'isolement d'une enveloppe métallique ? Quelle protection est à envisager dans ce cas ?

1.2 Justification du départ CTA

On se propose d'étudier la distribution HTA qui relie le poste de livraison, le poste Bocage central Infra Nord et le poste Bocage central Terrasse (DT 6).

Question 06. Pour effectuer un nettoyage hors tension sur la cellule HT repérée PT2, les personnes devant intervenir doivent avoir une habilitation. Citer les niveaux d'habilitation pour réaliser cette tâche.

Question 07. A la remise sous tension de la cellule PT2, suite à l'entretien du poste Bocage Central Terrasse, un défaut a provoqué la fusion du fusible de cette cellule Haute Tension. Donner les critères de choix du remplacement du fusible HT Solefuse (Annexe 1).

Question 08. Déterminer le calibre du fusible de remplacement en justifiant votre choix par calcul et en précisant la norme choisie. Proposer une référence de matériel.

On se situe au niveau du TGBT UT-NP (DT 7) en aval du transformateur de puissance $S_n=1250\text{kVA}$.

Question 09. Justifier par calcul le calibre du disjoncteur Q_{gen} UTNP.

Question 10. D'après le calcul du courant de court-circuit présumé dans l'armoire du TGBT UT-NP, justifier le pouvoir de coupure du disjoncteur Q_{gen} UTNP (Annexe 2).

Question 11. Vérifier sur le départ UT-28 de la CTA (centrale de traitement d'air) que le disjoncteur de tête est bien choisi si un court-circuit survient au niveau du récepteur. Se référer aux valeurs des impédances de court-circuit présentées dans l'Annexe 2 et compléter le tableau ci-après.

le jeu de barres mesure 4 m, sa section

R (mΩ)	X (mΩ)
disjoncteur Q_{gen} R= 0	disjoncteur Q_{gen} X=0,15
Jeu de barres R est négligeable	Jeu de barres
Disjoncteur UT 28	Disjoncteur UT 28
Résistance du câble	Réactance du câble
>200mm ²	

Impédance totale de la boucle de défaut :....

Valeur de l'intensité de court-circuit au point d'installation de la CTA :....

Conclusion sur la protection :

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

Partie 2. Efficacité énergétique

Dans le cadre de la restructuration et afin d'améliorer l'efficacité énergétique, le bureau d'étude a proposé une solution de GTE qui couvre maintenant l'ensemble de l'installation.

Cette partie propose, à l'aide des documents référencés DT 4, DT 5, DT 8, Annexe 5, Annexe 6, Annexe 7, Annexe 8, Annexe 9, Annexe 10, Annexe 11, Annexe 12 et Annexe 13 :

- de vérifier la compatibilité en termes de communication réseau entre les différents éléments qui composent cette GTE (Bocage 62),
- d'étudier les solutions possibles permettant l'amélioration de l'efficacité énergétique.

2.1 Gestion technique énergétique

Le logiciel de supervision Panorama a été choisi afin de gérer l'installation électrique par des automates placés dans les postes haute tension et les TGBT. Cette GTE doit permettre :

- la surveillance de l'installation avec la remontée des alarmes,
- l'archivage des données pour la maintenance préventive,
- la maîtrise au plus juste de la consommation en énergie électrique.

Les documents techniques DT 4 et DT 5 montrent respectivement une capture d'écran de la GTE et le schéma de principe de l'architecture réseau.

Le personnel de maintenance est directement averti d'un défaut grâce à un système de supervision qui reçoit les mesures envoyées directement des centrales de mesures ou qui peut, à tout instant, connaître l'état des contacts des différents départs du TGBT UT-NP. Cette supervision permet de réagir rapidement afin d'assurer une maintenance efficace sur le site.

L'Annexe 5, l'Annexe 6 et l'Annexe 7 font référence aux questions suivantes.

Question 12. Peut-on relier directement la centrale de mesure au pc de supervision ? Justifier.

Question 13. Quel équipement est-il nécessaire de mettre en place pour assurer la communication entre la centrale de mesure et le PC de supervision.

Question 14. Déterminer la configuration des interrupteurs DIP de la passerelle EGX.

--

Question 15. Préciser les caractéristiques définissant la communication entre les centrales PM820 des différents départs et la passerelle EGX.

Support de transmission	
Type de liaison	
Protocole de communication	

Question 16. A la première mise sous tension de la passerelle, préciser l'adresse IP de configuration par défaut.

--

L'adresse IP de la passerelle est codée sur 4 octets, IPv4 et elle est décomposée en un identificateur réseau (NetID) et un identificateur machine (HostID).

Question 17. Identifier avec l'adresse IP de la passerelle ses 2 identificateurs.

--

Le PC de supervision et la passerelle EGX peuvent communiquer ensemble s'ils présentent des adresses IP dont les « NetId » sont identiques à masque de sous-réseau donné.

La notation binaire (base 2) est nécessaire pour comprendre l'organisation d'un réseau. Il faut effectuer la conversion en binaire de l'adresse IP de la passerelle et de l'adresse IP du poste de supervision ci-dessous.

Poste de supervision : 169.254.0.140

Question 18. Compléter par conséquent le tableau ci-dessous :

Base 10	169	254	0	140
Base 2				

Question 19. Vérifier l'appartenance au même réseau de la passerelle (IP1) avec le PC de supervision (IP2) en considérant que le masque de sous réseau est égal à 255.255.255.0

IP1 (base 10)	169	254	0	10
IP1 (base 2)	1010 1001			
Masque (base 2)	1111 1111			
Résultat ET logique (base 2)	1010 1001			
Résultat ET logique (base 10)	169			
IP2 (base 10)	169	254	0	140
IP2 (base 2)				
Masque (base 2)				
Résultat ET logique (base 2)				
Résultat ET logique (base 10)				

Question 20. Que peut-on conclure à l'issue de cette étude sur la communication entre les différents matériels ?

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

2.2 Amélioration de l'efficacité énergétique

Une étude de l'ADEME a montré qu'en France les pertes annuelles énergétiques des transformateurs sont estimées à 2.2 TWh.

Ces transformateurs sont utilisés en grand nombre dans les différentes sous-stations de l'hôpital et bien que faisant partie des équipements électriques à haut rendement (98%), ils constituent du fait de leur utilisation sans interruption 24h/24, des sources de pertes non négligeables.

On propose d'étudier les transformateurs du bocage central terrasse (Annexe 8, gamme Minera Standard) sous l'angle de leur rendement énergétique et les solutions proposées et envisageables qui permettent l'amélioration de leur efficacité énergétique.

Question 21. En étudiant le schéma unifilaire du Bocage Central Terrasse (DT 8), justifier la puissance nominale des transformateurs TR1 et TR2.

Question 22. Quelle est la nature des charges alimentées par les deux transformateurs ?

Question 23. En s'appuyant sur la documentation constructeur, calculer les pertes totales de l'ensemble constitué des deux transformateurs dans les conditions nominales en considérant un facteur de puissance $\cos(\varphi_n)=0.8$. Vérifier par le calcul le rendement annoncé par le constructeur.

Afin de réduire les pertes en charge, une batterie de condensateurs est connectée aux bornes des transformateurs.

Question 24. Calculer la puissance réactive totale associée à une charge équivalente de $\cos(\varphi_n)=0.8$ fournie par l'ensemble constitué des deux transformateurs dans les conditions nominales. Conclure sur la stratégie de compensation de l'énergie réactive mise en place.

Question 25. En vous référant à l'Annexe 11, calculer en pourcentage la réduction des pertes en charge grâce à la batterie de condensateurs installée aux bornes des deux transformateurs.

On souhaite compenser intégralement la puissance réactive des récepteurs dans les conditions nominales d'utilisation.

Question 26. Quel est le mode de compensation à adopter dans ce cas ? En présence des variateurs de vitesse des différentes CTA (Central Traitement de l'Air), quel type de condensateur est à éliminer du choix ?

Question 27. En vous appuyant sur l'Annexe 10, préciser les critères de choix de la de condensateur et donner la référence ainsi que les caractéristiques du matériel choisi (puissance et nombre de gradins).

La Directive Européenne ErP (Energy related Products) 2009/125/CE datée du 21 octobre 2009 (Annexe 12) fixe un nouveau cadre réglementaire permettant d'améliorer l'efficacité énergétique des produits.

Dans le cadre du marquage CE, elle s'applique aux produits ayant un impact sur la consommation d'énergie sur tout leur cycle de vie depuis leur fabrication, leur utilisation et jusqu'à leur fin de vie.

Question 28. En vous appuyant sur les Annexe 8 et Annexe 12, donner les duos possibles des symboles $\{[A_0...E_0],[A_k...E_k]\}$ de la classification énergétique des transformateurs de 1250 kVA associés aux catégories suivantes :

Transformateur haut rendement plus : HE+	
Transformateur haut rendement : HE	
Transformateur standard	

Question 29. Déterminer l'indice PEI (Peak Efficiency Impact) du transformateur de puissance assignée de 1250 kVA pour les catégories standard et HE+. On précise que les transformateurs sont refroidis par un bain d'huile.

Etant donné, une utilisation des transformateurs 24h/24h, une augmentation de leur efficacité énergétique permettrait une économie de presque 2 milliards d'euros sur leur durée de vie.

On donne la relation permettant de calculer l'énergie consommée par un transformateur refroidi par un bain d'huile :

$$W = (P_0 + K \times P_k) \times t$$

On souhaite remplacer le transformateur de distribution du Bocage Central Terrasse de puissance apparente de 1250 KVA (gamme standard) par un transformateur à haute efficacité (HE+).

Nom de famille :
(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



Prénom(s) :

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Numéro
Inscription :**

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Né(e) le :

--	--

 /

--	--

 /

--	--	--	--

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

(Remplir cette partie à l'aide de la notice)

Concours / Examen : **Section/Spécialité/Série :**

Epreuve : **Matière :** **Session :**

CONSIGNES

- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- Numérotter chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.
- Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.

EFE GET 1

Partie 2
Question 30
Partie 3
Questions 31 à 36

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

Question 30. Montrer que l'on peut faire une économie relative sur les pertes totales de plus de 2200 euros/an pour un fonctionnement en continu de 24h/24. On choisira un facteur de charge $K=50\%$ applicable sur les pertes en charge uniquement et un coût du kWh égal à 0.06 €.

Bilan des calculs :

	Sn (kVA)	P ₀ (kW)/an	P _k (kW)/an	Pertes totales (kWh)	Coût pertes/an (en €)
Minera standard					
Minera HE+					

Partie 3. Disponibilité de l'énergie

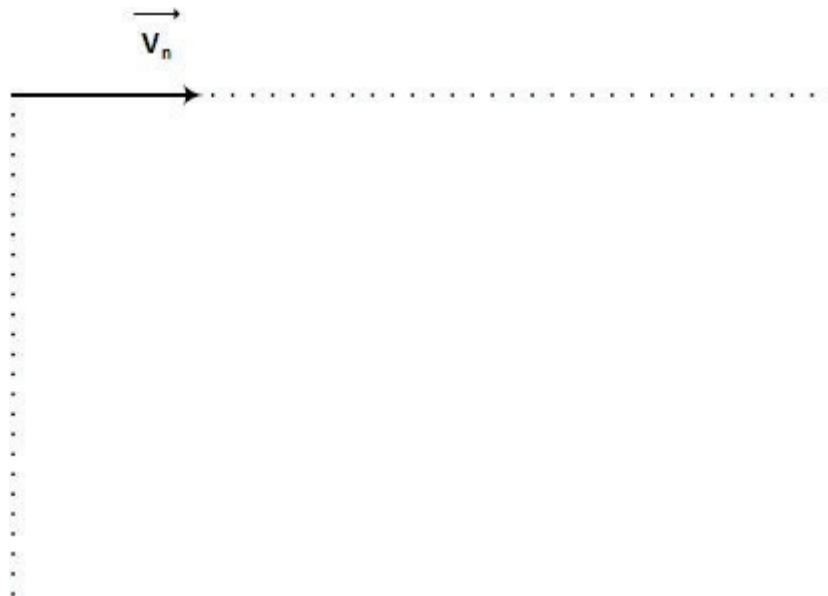
Cette partie propose d'analyser l'installation de secours et de justifier les solutions techniques permettant de répondre aux contraintes énergétiques particulières de ce type d'établissement.

Les documents référencés DT 1, DT 2, DT 3, Annexe 3 et Annexe 4 sont associés à cette partie.

3.1 Détermination de la puissance installée de l'hôpital

Question 31. Soit le transformateur TR1 du « Bocage Central Terrasse », de puissance apparente $S_n=1250$ kVA. Calculer les puissances active et réactive au secondaire de ce dernier en considérant un facteur de puissance, $\cos\varphi_n=0.8$.

Question 32. Compléter le diagramme des puissances au secondaire du transformateur en faisant apparaître l'angle φ_n . Echelle conseillée : 1 cm = 200 kW, 1 cm = 200 kVAR et 1 cm = 200 kVA.



Question 33. En considérant un rendement du transformateur de $\eta=0.98$ et la puissance réactive consommée par ce dernier négligeable, calculer les puissances active et réactive absorbées par le transformateur pour un facteur de puissance au secondaire $\cos\varphi_n=0.8$. En déduire la puissance apparente d'alimentation du transformateur.

Question 34. En prenant un facteur de puissance $\cos\varphi=0.8$ et un rendement, $\eta=0.98$ pour l'ensemble des transformateurs de l'hôpital, calculer la puissance apparente totale, S_t , nécessaire pour alimenter l'installation et vérifier avec la puissance de $2 \times 10\text{MVA}$ fournie par EDF (S_{edf}). On négligera la puissance réactive consommée par les transformateurs.

Question 35. Calculer la puissance apparente totale des groupes secours de toute l'installation en considérant leur facteur de puissance identique. Conclure sur la capacité de secours de l'installation.

On définit le coefficient de simultanéité de l'installation comme suit :

$$\sigma = \frac{S_{edf}}{S_t}$$

Question 36. Calculer le coefficient de l'installation et interpréter le résultat.

Nom de famille :
(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



Prénom(s) :

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Numéro
Inscription :

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Né(e) le :

		/			/				
--	--	---	--	--	---	--	--	--	--

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

(Remplir cette partie à l'aide de la notice)

Concours / Examen : Section/Sécialité/Série :

Epreuve : Matière : Session :

CONSIGNES

- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- Numéroter chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.
- Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.

EFE GET 1

Partie 3
Questions 37 à 42

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

3.2 Etude d'un groupe secours

On s'intéresse aux groupes secours alimentant le Bocage Central Terrasse, GE1, GE2 et GE3. Ces derniers sont utilisés selon deux modes de secours :

- PRP (prime running power): charge variable et durée illimitée,
- COP (continuous operating power) : charge constante et durée illimitée,

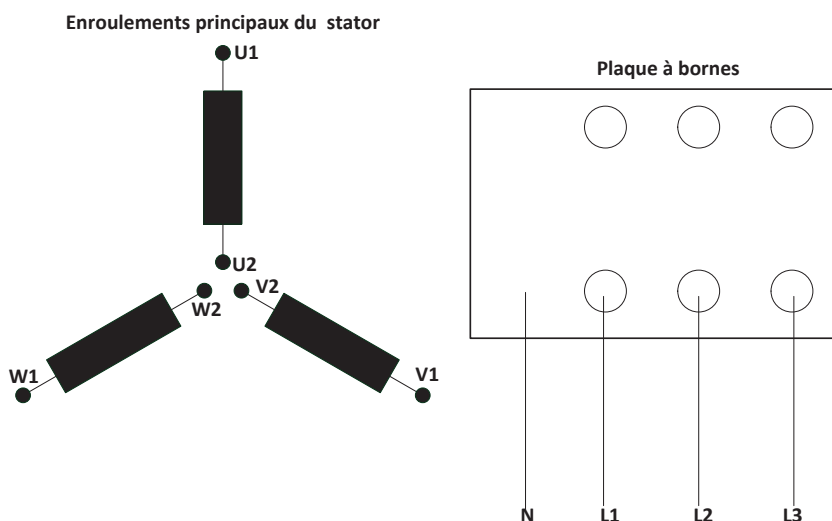
Par ailleurs, deux modes de fonctionnement en parallèle des groupes sont possibles :

- Marche en parallèle et/ou isolés du réseau EDF,
- Marche en parallèle, connectés au réseau EDF,

On étudie le **fonctionnement isolé** du groupe secours GE1. La documentation technique associée est située à l'Annexe 3.

Question 37. Déterminer la puissance apparente de l'alternateur conformément aux caractéristiques générales de l'installation.

Question 38. Justifier le couplage des enroulements du stator. Ajouter les connexions entre ces derniers et la plaque à bornes de l'alternateur et réaliser le couplage sur la plaque à bornes en dessinant les barrettes.



Couplage :

Question 39. Vérifier par le calcul, la puissance produite par le moteur diesel dans les conditions de « puissance principale », à facteur de puissance égale à 0.8 et à pleine charge de l'alternateur.

Question 40. Quelles sont les impédances utiles pour le calcul du point de fonctionnement en régime permanent d'un alternateur (On pourra négliger toutes les résistances) ? Donner les valeurs en Ohms.

On souhaite déterminer le courant de l'excitation de l'alternateur dans les conditions nominales d'utilisation à facteur de puissance égal à 0.8 en utilisant le modèle de Behn-Eschenburg (diagramme à une réactance) valable pour les machines à pôles lisses décrit ci-après :

-on considère linéaire, la fonction donnant la force électromotrice (FEM) induite à vide E_v par rapport au courant d'excitation J_{exc} conformément à la relation ci-dessous :

$$E_v = k_{ex} \times I_{ex} \text{ avec } k_{ex} = 800V/A$$

-d'autre part, la FEM à vide E_v est la somme de la chute de tension provoquée par la réactance synchrone longitudinale X_d parcourue par le courant de ligne I et de la tension aux bornes de la charge V . Avec $j^2=-1$:

$$\underline{E_v} = \underline{V} + jX_d\underline{I}$$

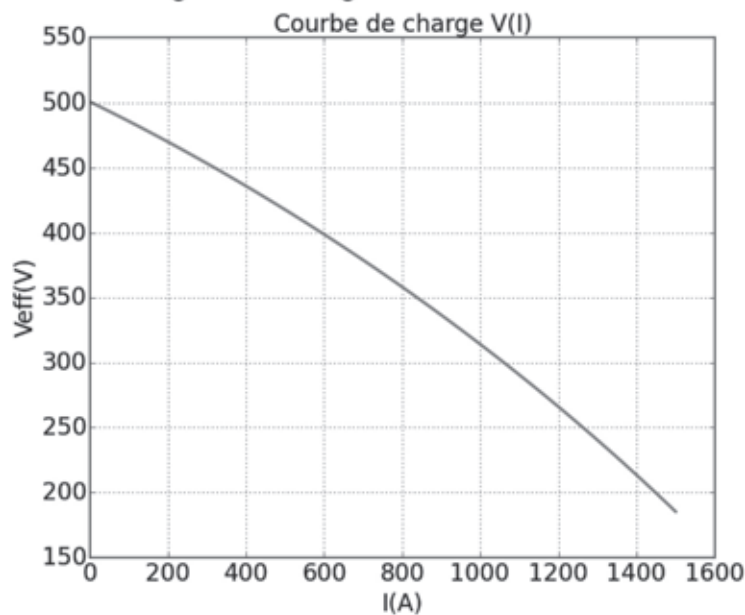
Question 41. En utilisant le modèle de Behn-Eschenburg, donner l'expression de la valeur efficace de E_v au point nominal en fonction de S_n , φ_n , X_d et V_n . Faire l'application numérique. On choisira $X_d=0.246 \Omega$. En déduire la valeur du courant d'excitation.

3.3 Impact de charge et régulation de tension

Afin d'étudier qualitativement l'effet d'un impact de charge sur le fonctionnement de l'alternateur, le modèle de Behn Eschenburg est choisi pour sa simplicité.

Le graphique ci-après représente la courbe de charge $V=f(I)$ d'un alternateur de 1850 kVA avec un réglage du courant d'excitation permettant d'obtenir une tension de $V=230V$ pour un courant égal à $I_n/2$ à facteur de puissance identique au point de fonctionnement nominal.

Question 42. Préciser sur ce graphique les valeurs du point de fonctionnement à demi-charge. Dessiner l'évolution du point de fonctionnement lorsque le courant dans la charge devient progressivement nul à courant d'excitation et vitesse de rotation, constants. Préciser les valeurs demi-charge et à charge nulle.



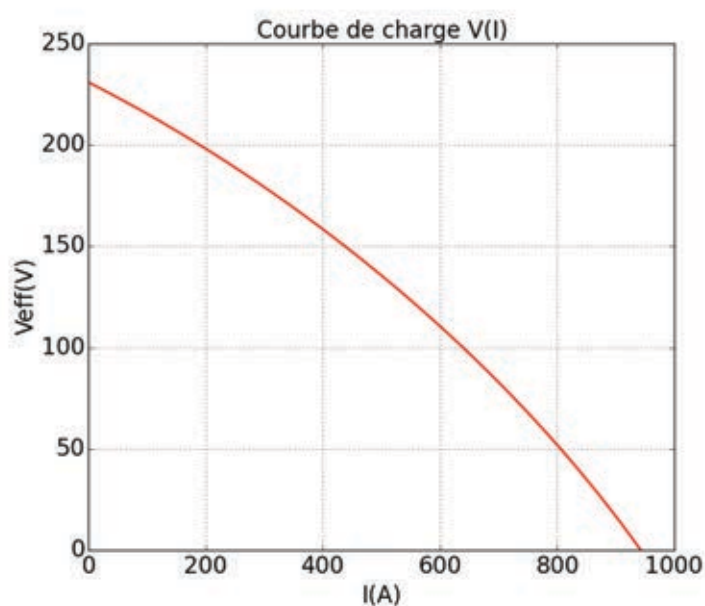
Point de fonctionnement à demi-charge : ...

Point de fonctionnement à charge nulle : ...

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

On suppose maintenant que le courant d'excitation est réglé de telle sorte que la FEM induite soit égale à la tension $V=230V$ à charge nulle puis on charge progressivement l'alternateur à courant d'excitation et vitesse de rotation constants. Ce fonctionnement est représenté dans le graphique ci-après.

Question 43. Indiquer les valeurs du point de fonctionnement à charge nulle sur le graphique. Dessiner l'évolution du point de fonctionnement de l'alternateur lorsque la charge augmente progressivement et donner la valeur du point de fonctionnement à charge maximale.



Point de fonctionnement à charge nulle : ...

Point de fonctionnement à charge maximale : ...

Question 44. A vitesse constante, quelle grandeur doit être régulée afin d'alimenter les équipements dans des conditions normales d'utilisation.

Grandeur à réguler et justification :

Ci-dessous, l'essai du groupe électrogène GE1 (tension et fréquence), lors d'un impact de charge, égale à la demi-charge, $P=750\text{kW}$.

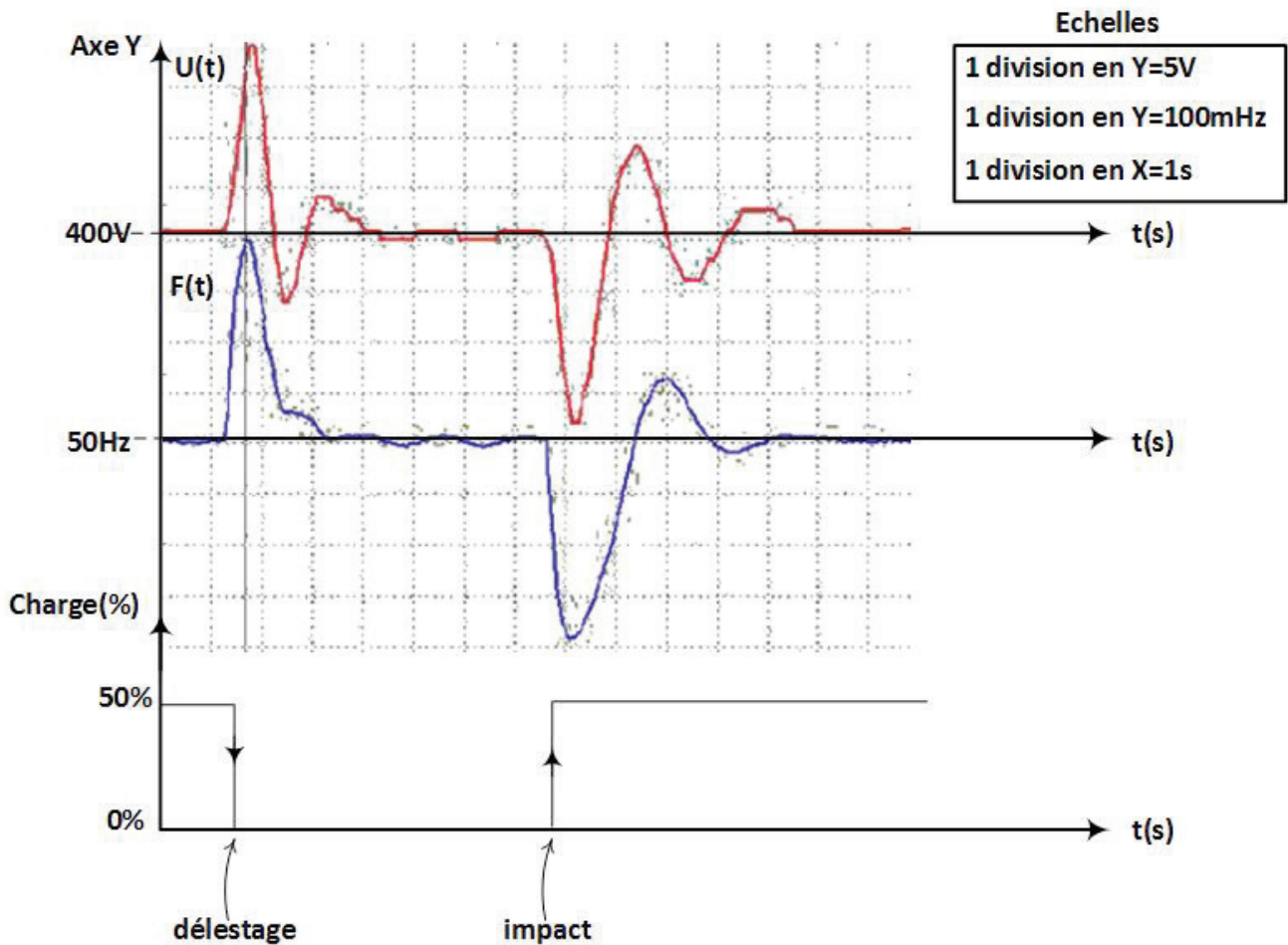


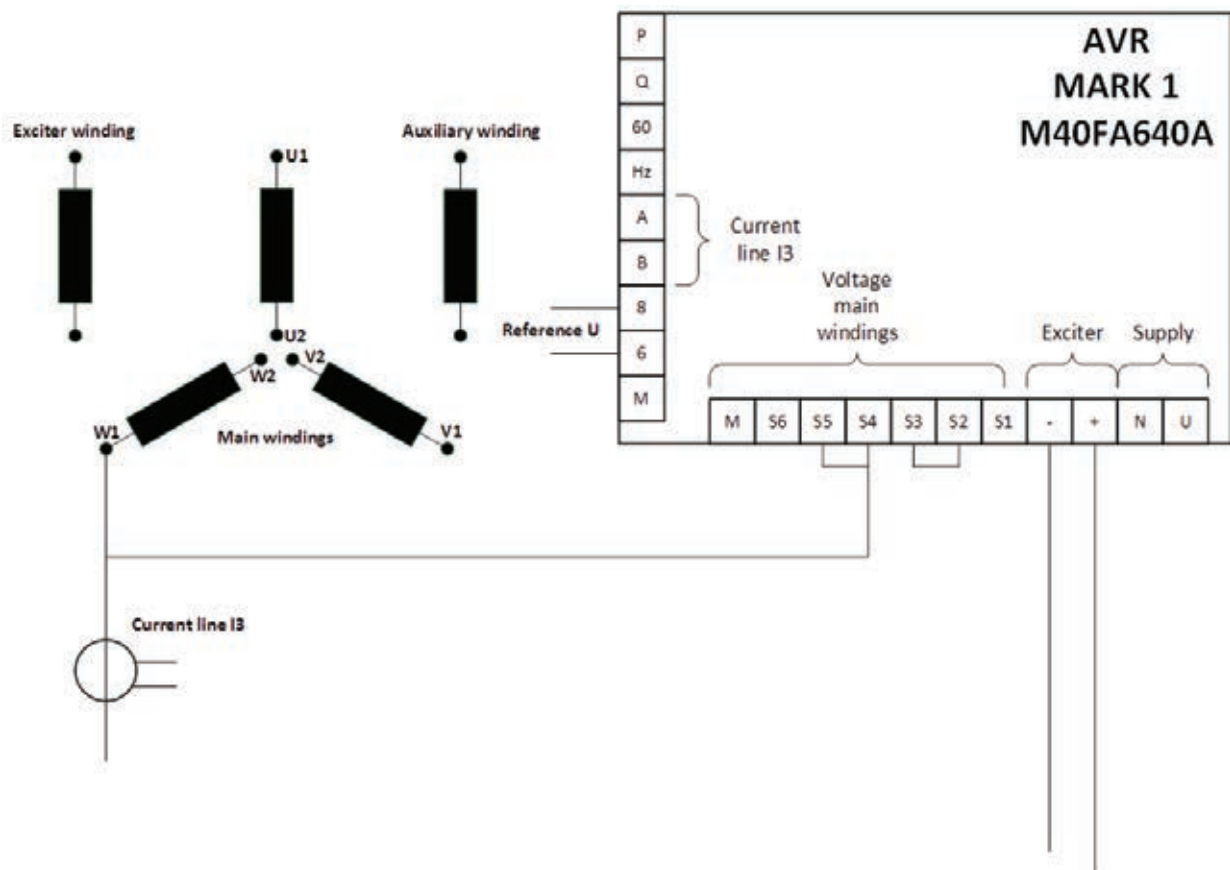
Figure 1 Réponse en boucle fermée de la régulation de tension et de fréquence lors d'un impact de charge.

Question 45. D'après la Figure 1, associée à la connexion/déconnexion de la demi-charge, préciser les temps de réponse respectivement pour le délestage et pour l'impact de charge. Expliquer qualitativement l'allure des courbes et déduire le sens de variation du courant d'excitation.

Le régulateur AVR Mark 1 permet d'ajuster le courant d'excitation en fonction de l'impact de charge. Sa documentation est donnée à l'Annexe 4.

On souhaite réaliser le schéma de câblage du régulateur en respectant les contraintes ci-dessous :

- le régulateur est alimenté par le bobinage auxiliaire de l'alternateur référencé par rapport au point neutre de l'étoile formée par les bobinages principaux,
- les points de mesure des tensions simples sont connectés respectivement sur les bornes S1, S2 et S4 et le point M est connecté au point neutre,
- le bobinage d'excitation est connecté au régulateur sur les bornes dédiées,
- la mesure du courant de ligne est prise sur l'enroulement W1-W2 via un transformateur de courant dont les bornes sont connectées au régulateur,



Question 46. Compléter ci-dessus, le schéma de câblage du régulateur de courant d'excitation.

Question 47. Préciser le nom des potentiomètres permettant de régler le régulateur. Indiquer la valeur nominale de trois d'entre eux.

Nom des potentiomètres et valeurs de réglage :

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

3.4 Stratégie de pilotage des groupes secours

La centrale groupe alimente 8 TGBT (DT 3) en cas de manque secteur sur un, plusieurs ou la totalité des TGBT.

Les inverseurs de source sont intégrés dans les TGBT réalimentés. La centrale fonctionne de manière autonome pour ses besoins en fuel, charge batteries et refroidissement.

La centrale doit être en mode AUTO, elle possède néanmoins le mode STOP et le mode TEST, les différents groupes peuvent fonctionner en mode NORMAL ou DEGRADE.

Les différents disjoncteurs des départs de TGBT peuvent être en mode ARRÊT (disjoncteur consigné), FORCE (disjoncteur actif par Bouton Poussoir), et AUTO prêt à recevoir les ordres.

On étudie la centrale, le groupe et les disjoncteurs en mode AUTO dans le cas d'une disparition de la tension réseau. Le fonctionnement est illustré par un grafcet principal GC (Grafcet de Conduite, Figure 2) et des sous-programmes suivants :

- SP1 : de gestion de défauts (non étudié),
- SP2 : fonctionnement automatique de la centrale (non étudié),
- SP3 : la commande des disjoncteurs des TGBT qui fera l'objet des questions (Figure 2),

Chaque groupe électrogène et chaque TGBT est contrôlé par un ordinateur embarqué MAGE DSP communiquant, équipé d'entrées/sorties analogiques/logiques et capable d'effectuer des calculs.

Ci-dessous les libellés des variables d'entrée et de sortie :

Libellé	Input	Output	Fonction
GE normal	1		Groupe électrogène en mode normal
ATU	2		Arrêt total urgence
GE AUTO	3		Groupe électrogène en mode automatique
OPT MAGE DSP		1	L'ordinateur de contrôle optimise la puissance en fonction des ordres
DISJ AUTO	4		Les disjoncteurs sont en mode automatique
Défaut	6		Défaut constaté
FER QTR5		2	Fermeture du disjoncteur QTR5
FER QTR1		3	Fermeture du disjoncteur QTR1
FER QPN		4	Fermeture du disjoncteur QPN
FER QTR2		5	Fermeture du disjoncteur QTR2
FER QPH		6	Fermeture du disjoncteur QPH
Excit. alternateur		7	Excitation des alternateurs
TGBT secours		8	Inverseurs secours enclenchés
GE EN CHARGE		9	Les groupes fonctionnent
SP3			Appel du sous-programme
CE AUTO	5		Centrale en mode automatique

Question 48. Que représente le double carré de la première étape du GC. Préciser à quel moment elle devient active.

Question 49. Quelle condition faut-il pour valider la transition entre l'étape 30 et l'étape 31 ? Quand peut-on dire que la transition entre les étapes 30 et 31 est franchie ?

Question 50. Comment se nomme la sélection de séquence entre l'étape 31 et les étapes 32, 33 et 34 ? Préciser la variable permettant de discriminer chaque séquence.

Question 51. Compléter le GRAFCET de conduite (Figure 2, page suivante) associé au cahier des charges (voir DT 3).

Question 52. On se trouve dans la situation où 2 groupes fonctionnent et un TGBT envoie un ordre au MAGE DSP d'un besoin de puissance supplémentaire. Indiquer où se trouve cet ordre sur les GRAFCET et quelle(s) étape(s) est/ sont active(s).

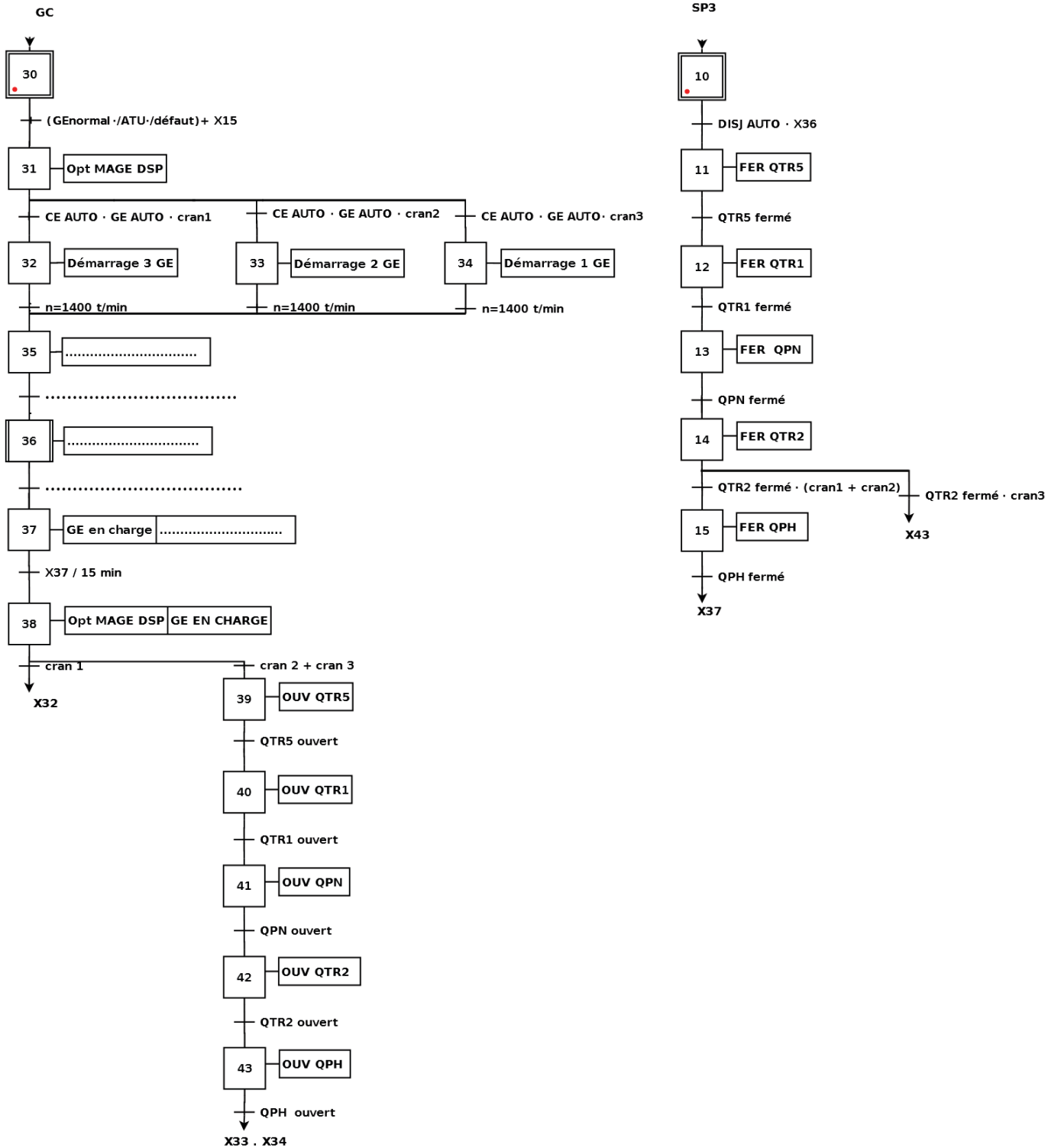


Figure 2 : Grafcet de conduite et sous programme SP3

Question 53. Conclure sur la stratégie de secours mise en place.